

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920091152505

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

继电器动态电阻在线检测系统
研究与实现

Research and Implementation of Relay Dynamic
Resistance Detection System

廖乐平

指导教师姓名: 陈 文 芾 教授

专 业 名 称 : 精密仪器及机械

论文提交日期: 2012 年 04 月

论文答辩时间: 2012 年 05 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人：_____

2012 年 05 月

厦门大学博士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

继电器是自动控制系统、遥控遥测系统和通信系统中的关键元件之一，它广泛的应用于航空航天、电子、通信、交通以及日常生活的众多领域。在国民经济各领域内，尤其是在国家重点军事工程中占有重要的地位。它们的工作是否正常将直接影响到由该继电器组成的设备或产品的稳定性和可靠性，因此必须在出厂时对反应继电器性能的相关参数进行测试，来保证产品达到性能指标要求。随着科学技术的不断进步，继电器的测试方法也不断的更新改进。

本文以继电器触点动态电阻作为主要研究对象，对其特点进行了深入的探索。在分析对比了当前接触电阻常用检测方法的基础上，针对这些检测方法难以应用在继电器生产线在线检测的难点，提出了一种动态接触电阻在线定性检测的方法，其创新点在于利用微分回路与比例回路将继电器触点动态电阻的峰值与稳定值检测分开，简化了检测结构，使动态电阻的在线检测成为可能。基于该方法设计并制作了一套继电器动态电阻在线检测系统。系统作为 60 次振动循环测试机的电气测试部分，与相关的机械部分协作配合，以接触点动态电阻为检测依据在线对继电器产品进行检测并对不良品进行剔除。系统已经在实际生产线上稳定工作了一年多，这表明本文提出的继电器动态电阻检测方法可行。

关键词：继电器，动态电阻，在线检测

abstract

The relay is one of the key components in an automatic control system, the remote telemetry and communications systems. it is widely used in many areas of aerospace, electronics, communications, transportation, and daily life, and occupies an important position in various fields of national economy, especially in the national key military engineering. Their work will directly affect the stability and reliability of the equipment or product, so the response of the relay performance parameters must be tested at the factory to ensure that products meet performance requirements. With the continuous progress of science and technology, relay test methods have been updated to improve.

This paper considers dynamic resistance of relay's contact as the main object and probes into characteristics of it. On the base of comparing among currently common detection methods of contact resistance, this paper puts forward a dynamic contact resistance online qualitative examination method aimed at solving difficulties in these examination methods not suitable for relay production-line online detection. The innovation points lies in using the differential circuit and proportional loop to make relay contacts dynamic resistance and the stable value peak detection separate, and simplify the testing structure, making dynamic on-line detection of resistance to become possible. This paper designs a relay on-line detection system of dynamic resistance based on the design method. This system which cooperates with other mechanical parts ,as a 60 times vibration test of the electrical machine cycle testing part, detects relay products and eliminates bad products based on contact point dynamic resistance. This system has been in practical production line and works stably more than a year, which shows that the proposed relay dynamic resistance detection method is feasible.

Keyword:relay; dynamic resistance; online detection

目录

第一章 绪论	1
1.1 课题背景	1
1.2 继电器特性	1
1.3 继电器测试技术现状	3
1.3.1 国外研究的概况	3
1.3.2 国内研究的概况	4
1.4 本文主要内容	5
第二章 继电器测试方案	6
2.1 继电器触点接触电阻	6
2.1.1 触点接触电阻	6
2.1.2 影响触点接触电阻的因素	6
2.1.3 触点闭合过程接触电阻的变化——动态电阻	7
2.2 当前接触电阻检测方法	8
2.2.1 标准中定义的方法	8
2.2.2 四端法测量接触电阻	10
2.2.3 双臂电桥法测接触电阻	11
2.3 本设计的触点检测方案	12
2.3.1 动态电阻检测	13
2.3.2 检测电路结构	15
2.3.3 电路参数选取	17
2.4 总体设计方案	19
2.4.1 实验条件	19
2.4.2 检测系统总体设计	19
第三章 系统硬件设计	21
3.1 硬件总体构成	21
3.2 动态电阻检测电路	21
3.2.1 电源的选择	22
3.2.2 模拟开关	23
3.3 电流检测	24
3.3.1 ACS713ELCTR-20A-T 简介	24
3.3.2 应用电路	26
3.4 信号调理	27
3.5 控制部分	29
3.5.1 微控制器模块	29
3.5.2 微控制器应用电路	30
3.5.3 下载调试模块	30
3.5.4 电源模块	31
3.6 通信模块	33

3.6.1 RS232 电平转换.....	33
3.6.2 逻辑门电路的设计.....	34
3.6.3 隔离通信.....	35
3.7 LCD 显示.....	37
3.8 硬件系统的抗干扰设计.....	38
3.8.1 屏蔽干扰.....	39
3.8.2 电气隔离.....	39
3.8.3 PCB 板地线的设计.....	39
3.8.4 其它一些措施.....	40
第四章 系统软件设计.....	41
4.1 开发环境介绍.....	41
4.2 软件总体结构.....	42
4.3 与 PLC 通信程序设计.....	43
4.3.1 通信协议 MEWTOCOL 简介.....	43
4.3.2 与 PLC 通信的实现.....	44
4.4 定时器相关程序设计.....	46
4.4.1 Atmega16 定时器介绍.....	46
4.4.2 本设计中定时器的应用.....	47
4.5 检测程序设计.....	49
4.6 LCD 显示程序设计.....	51
4.6.1 通信的设计.....	51
4.6.2 界面的设计.....	52
4.7 软件的可靠性设计.....	55
第五章 系统调试与结果.....	57
5.1 硬件调试.....	57
5.2 软件调试.....	57
5.3 结果与总结.....	59
5.3.1 实验结果.....	59
5.3.2 调试总结.....	60
第六章 总结与展望.....	62
6.1 总结.....	62
6.2 展望.....	62
参 考 文 献.....	64
致 谢.....	67
攻读硕士学位期间发表论文.....	68

CONTENTS

Chapter1 Perface	1
1.1 Research task	1
1.2 Characteristics of relay	1
1.3 Relay test technology situation	3
1.3.1 Foreign research situation	3
1.3.2 Domestic research situation	4
1.4 Main research contents	5
Chapter2 Relay Test Program	6
2.1 Relay contact resistance	6
2.1.1 Contact resistance	6
2.1.2 Factors that affect contact resistance	6
2.1.3 Contact closing process of the contact resistance changes - Dynamic Resistance	7
2.2 Current contact resistance detection methods	8
2.2.1 Methods defined in the standard	8
2.2.2 The four-terminal method for measuring contact resistance	10
2.2.3 Double bridge method to measure the contact resistance	11
2.3 The design of the contact detection scheme	12
2.3.1 Dynamic resistance testing	13
2.3.2 Detection circuit structure	15
2.3.3 Circuit parameter selection	17
2.4 The overall design scheme	19
2.4.1 Experimental conditions	19
2.4.2 Detection system design	19
Chapter3 System Hardware Design	21
3.1 Hardware general structure	21
3.2 Dynamic resistance detection circuit	21
3.2.1 Choice of power	22
3.2.2 Analogue switch	23
3.3 Current detecting	24
3.3.1 Introduction to ACS713ELCTR-20A-T	24
3.3.2 Application circuit	26
3.4 Signal conditioning	27
3.5 Control segment	29
3.5.1 Micro- Controller module	29
3.5.2 Micro-Controller application circuit	30
3.5.3 Download debug modules	30
3.5.4 Power module	31
3.6 Communication module	33
3.6.1 RS232 level-shifting	33

3.6.2 Logic gate circuit design	34
3.6.3 Isolation communication	35
3.7 LCD display	37
3.8 Anti-disturbance design of hardware system	38
3.8.1 Shielding inference.....	39
3.8.2 Electrical isolation.....	39
3.8.3 The PCB ground design	39
3.8.4 Other measures.....	40
Chapter4 System Software Design.....	41
4.1 Development environment introduction.....	41
4.2 Software general structure.....	42
4.3 Communication with PLC program design.....	43
4.3.1 Introduction to communication protocol MEWTOCOL.....	43
4.3.2 Realization of the communication with PLC	44
4.4 Timer relevant programs design.....	46
4.4.1 Atmega16 timer introduction	46
4.4.2 Timer application in the design.....	47
4.5 Detection program design	49
4.6 LCD show program design	51
4.6.1 Communication design.....	51
4.6.2 Interface design	52
4.7 Software reliability design	55
Chapter5 System testing and results.....	57
5.1 Hardware debugging.....	57
5.2 Software debugging	57
5.3 Results and summarizations.....	59
5.3.1 Experimental result	59
5.3.2 Summary of commissioning	60
Chapter6 Research Conclusions and Discussion.....	62
6.1 Research conclusions	62
6.2 Further research.....	62
References.....	64
Acknowledgements.....	67
Published Paper Introduction.....	68

第一章 绪论

1.1 课题背景

随着电力电子技术和计算机技术的不断发展,系统的多功能化、大型化及复杂化要求组成系统的元件的可靠性越来越高。继电器作为一种电子元器件,其可靠性直接影响整个系统的可靠性。低压电器测试与试验是保证低压电器产品质量与可靠性的重要手段。有的时候继电器的触点机械参数(如超程、初压力和终压力等)在继电器装配完成后是无法测试的,而一些电气参数是可以测试的。我们可以通过这些电气参数间接地、定性地反映触点机械参数的变化,而触点机械参数直接影响触点接触可靠性。所以电磁继电器的电气参数是保证其产品质量特性的重要参数,可以间接地、定性地描述继电器的可靠性^[1]。

本课题来源于校企合作项目,与某自动化设备公司合作,为厦门某外企汽车继电器生产商开发一套应用在继电器生产线上的 60 次振动循环测试机。其任务是根据国标要求对继电器线圈性能、触点动作性能等进行在线检测,对每一个产品进行 60 循环检测,及时剔除出生产线上不符合要求的产品。该生产线的使用可解决目前我国在生产继电器过程中的有关参数测试靠人工手动完成,存在速度慢、精度低、不符合标准等问题。

1.2 继电器特性

继电器是一种用来打开或关闭一定数量互相独立的电路的器件,当一种输入量(电、磁、声、光、热)满足某些规定的条件时,能在一个或多个电器输出电路中产生跃变。目前出现的各类继电器按动作原理可分为:(1)电磁继电器:利用输入电路在电磁铁铁芯与衔铁间产生的吸力作用而工作的一种电气继电器。(2)固体继电器:指由电子元件履行其功能而无机械运动构件的,输入和输出隔离的一种继电器。(3)温度继电器:当外界温度达到给定值时而动作的继电器。(4)舌簧继电器:利用密封在管内,具有触点簧片和衔铁磁路双重作用的舌簧的动作来开闭或转换线路的继电器。(5)时间继电器:当加上或除去输入信号时,输出部分需延时或限时到规定的时间才闭合或断开其被控线路的继电器。(6)高频继电

器：用于切换高频，射频线路而具有最小损耗的继电器。(7)极化继电器：有极化磁场与控制电流通过控制线圈所产生的磁场综合作用而动作的继电器等^[2]。不论继电器的结构形式、动作原理如何千差万别，它们都是由感应机构（接受输入信号）、比较机构（提供比较量）和执行机构（输出电路）三部分组成，其原理框图如图 1-1 所示。

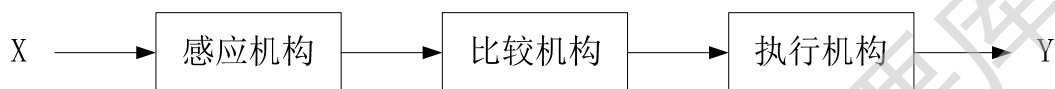


图 1-1 继电器原理方框图

继电器输入量和输出量之间在整个变化过程中的相互关系称为继电器的继电特性或控制特性，当继电器的输入信号 x 从 0 连续增加达到衔铁开始吸合时的动作值 x_{op} 时，继电器的输出信号立刻从 $y=0$ 跳跃到 $y=y_M$ ，即常开触点从断开到接通。当触点闭合后，输入量 x 继续增大，输出信号 y 将不再起变化。当输入量 x 从某一大于 x_{op} 值下降到 x_r 时，继电器开始释放，常开触点断开。 x_{op} 称为继电器的动作值， x_r 称为继电器的释放值， x_n 称为继电器的输入额定值， x_M 称为继电器的最大输入值。他们之间的关系为： $x_r < x_{op} < x_n < x_M$ 。我们把继电器的这种特性叫做继电特性，也叫继电器的输入输出特性^[3~6]。如图 1-2 所示。

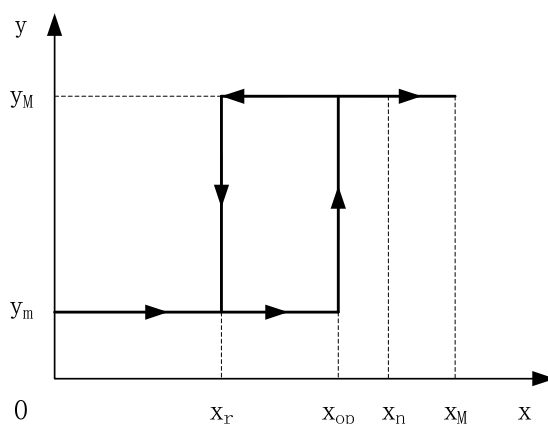


图 1-2 继电器输入输出特性

本文主要研究的是电磁继电器，这里重点介绍一下电磁继电器的特点。电磁

继电器的工作原理是：当控制线圈通电以后，铁芯被磁化产生足够大的电磁吸力，吸引衔铁并带动簧片，使动触点和静触点闭合或分开；当线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁在弹簧反力作用下返回常态位置，动触点和静触点又恢复到原来闭合或分开的状态。电磁继电器的参数一般包括以下几个方面：机械物理参数要求，如触点压力、触点间隙、触点跟踪、复原簧片压力、衔铁动程等项机械参数；电气参数，如线圈电阻、触点接触电阻、吸合电流(电压)、额定工作电流(电压)、释放电流(电压)、额定触点负荷、绝缘电阻、抗电强度等项电气参数；时间参数，如在控制线路中往往提出继电器吸合时间和释放时间等时间参数要求。

1.3 继电器测试技术现状

对于继电器相关参数的检测可以通过继电器试验来完成，继电器试验是检验继电器性能和质量的重要手段，通过继电器试验可以得到许多重要指标如电气性能参数，同时对找出继电器失效的原因也提供了很大的帮助^[2,7]。继电器试验分为三种：型式试验、定期试验和出厂试验。出厂试验又分为常规出厂试验和出厂抽样试验。常规出厂试验是对产品逐台进行的试验，其中未通过的产品必须逐台退修，直到全部通过；出厂抽样试验是在产品出厂前按总数的比例对该批产品进行的抽样检查和试验。除非另有规定，否则出厂抽样试验的合格准则和复试规则应按 GB2828 和 GB2829 的有关规定进行。型式试验是为了验证新产品的结构、性能能否达到预期设计的要求和有关标准，除非另有具体产品标准的规定，否则通常型式试验只需进行一次。定期试验是产品进入稳定生产后，每隔 3-4 年进行一次试验，除非另有规定，通常每项试验的试品数量不应少于两台^[2,8]。

1.3.1 国外研究的概况

国外继电器试验方法的制定工作开展较早，美国于 1964 年就发布了美国军用标准 MIL-R-39016 “电磁继电器总则规范”。在美国、日本等发达西方国家，普遍采用计算机在电器试验中进行控制与检测，例如美国 Robert H. Edward 研制的继电器电参数自动测试系统（RTS01）和日本松下电气公司生产的 ARL-0111 直流继电器综合电参数测试仪，这两种装置目前在国际上应用较广泛，它们可靠性高、性能完善，但价格昂贵。

在电器试验数据采集与数据处理设备方面,国外的研究工作开展的也比较早。由美国西屋公司与发展中心于 1976 年研制出的参数测量和数据处理系统可以检测试验电压、电流等参数,共有 10 个检测通道。它的采样频率为 77us,测试精度为 1%,可以显示和打印电压、电流波形。但是,该设备是专用的检测设备,只能用于参数检测,不能控制试验的过程。针对继电器的参数和性能检测,国外的理论研究和应用技术均有很大创新。

现阶段,基于各种试验条件下继电器触点的特征参数、表面形态及失效模式在电寿命试验过程中的变化规律是国外很多学者研究的热点,例如,通过试验发现,随着负载的增大,接触电阻反而会出现减小的趋势,从而证明接触电阻的变化规律和负载有直接关系;另外,触点的位移特性受电弧引起的材料转移的影响,从而吸合时间、释放时间、超行程时间等参数也会发生变化。此外,最新研究表明:接触电阻在大负载下波动幅值和频率较大,而在小负载下相对比较稳定。因此,单独通过接触电阻等电参数作为判断产品是否失效的依据是不全面的,也是不科学的。

1.3.2 国内研究的概况

在我国,20 世纪 70 年代末期才开始电器试验方法与标准的研究,根据国家及企业规定的标准,继电器的测试和检验是十分繁琐、困难的。国内大多采用传统的模拟实验方法对继电器的性能进行检测,这种方法不仅存在效率低、劳动强度大、测量速度慢、误差大等缺点,还不能准确的测量试验标准中规定的某些试验项目,甚至有些项目根本无法检测,如动作时间和弹跳时间等。直到 80 年代中期电器行业才开展了电磁继电器的试验研究工作,并把该项研究列为“七五”重点项目。河北工业大学、上海电器科学研究所、成都机床电器研究所、许昌继电器研究所及广州电器科学研究院等单位与企业相结合,开展了以产学研相结合的方式进行电器可靠性的研究工作。随着继电器技术突飞猛进的发展,经过国内外许多学者和工程技术人员的长期探索,我国终于在 90 年代后,研究出多种继电器电参数的测试装置,并在生产及检验的过程中取得了很好的应用成效 [1,2,4,6,9~12]。

通过文献查阅了解到,国内外对继电器的电参数的测试方法与测试设备都已

经有很成熟的方案。但是这些方案检验参数比较全面，检测周期长，适用于实验室环境下，主要用来对新研发的继电器产品进行型式检测，或者对出厂的产品进行抽样检测，很难应用于在线检测。而继电器在出厂时，根据相关标准，必须对每一个产品进行有关电参数的测试，开发在线检测设备具有相当大的意义与必要性。本文的主要内容就是研发一套跟生产线配套的在线检测系统，对汽车继电器进行动态接触电阻等参数的检测。

1.4 本文主要内容

在深入研究电磁继电器工作特性，国内外当前对继电器电气参数的检测方法的基础上，深入研究了汽车继电器的接触电阻的动态特性以及其检测方法，设计并制作了继电器动态电阻在线检测系统。论文主要工作有：

第一章介绍了继电器的技术原理和课题背景。对国内、国外继电器测试研究现状进行了分析，指出目前几种继电器测试方法的困难所在。

第二章全面回顾了继电器接触电阻的相关知识及特性，指出了现行的各种测试方法不适合在生产线上使用，根据本课题实际需求提出了一种新的、在线动态电阻测试方案。

第三章设计并制作了继电器动态电阻测试系统的硬件电路。对硬件电路中几个主要模块的功能及设计思路进行了介绍和说明。

第四章设计并编写了继电器动态电阻测试系统的软件。对软件的测试流程进行了详细的分析和说明。

第五章给出了继电器测试系统的硬件与软件调试方法、调试过程和实验结果。实验结果验证了该测试系统能够很好地满足生产线检测的需求。

第六章对论文内容进行了总结，针对论文存在的不足，提出了进一步研究方向。

第二章 继电器测试方案

2.1 继电器触点接触电阻

2.1.1 触点接触电阻^[13]

继电器触点在闭合状态状态下工作时，总是加上一定的压力（触点压力）使其相互紧密接触，以求可靠地接通电路、导通电流，而且总是希望它导通电流的能力愈强愈好，最好能像同样形状和尺寸的整块金属一样。然而，事实上两块相互接触着的金属的导电性能，总不如同样材料和几何尺寸的整块金属的导电性能好，增加了额外的电阻，即接触电阻。可见，接触电阻的出现，就是触点与同样材料和几何尺寸的整块金属之间的差异性，也是触点在闭合状态下工作时所表现出来的特殊性。接触电阻由表面电阻和膜电阻组成，可由下式表达：

$$R = \frac{\rho}{4a} + \frac{\sigma}{\pi a^2} \quad (2-1)$$

ρ ：触点材料的电阻率

a ：接触点半径

σ ：触点表面膜电阻率

式（2-1）中等式右边第一部分代表收缩电阻，第二部分代表膜电阻。

接触电阻的危害主要有以下两方面：

首先，当电流流过接触电阻时，就会消耗一定的功率（ I^2R ），使触点特别是实际接触点的温度升高。如果电流较大，实际接触点的温度就有可能升到材料的软化点，使它产生永久变形。如果温度更高，达到材料的熔化点，则触点将熔化并焊接在一起产生所谓“熔焊事故”。

其次，由于触点表面膜的存在，将引起触点工作严重不可靠，产生所谓“成膜故障”。

因此，如何设法降低与稳定膜电阻，就成为了这类电器触点最首要、最突出的问题。

2.1.2 影响触点接触电阻的因素^[14~16]

（1）触点材料、形状

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库